



鉄鋼製錬用不定形耐火物の寿命改善に関する研究

著者	奥野 浩英
発行年	2017-06-30
学位授与番号	17104甲生工第296号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006364

氏名・(本籍)	奥野 浩英 (福岡県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	生工博甲第296号
学位授与の日付	平成29年6月30日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	鉄鋼製錬用不定形耐火物の寿命改善に関する研究
論文審査委員会	委員長 教授 宮崎 敏樹
	〃 内藤 正路
	〃 西田 治男
	〃 恵良 秀則

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、日本の基幹産業である鉄鋼産業を縁の下で支える耐火物の性能向上に関する研究を行った。鉄鋼産業において高温で使用される耐火物は、設備によっては1500℃以上の溶鉄やスラグと直接接触することになる。それ故、鉄の製造コストを低減するためには、消耗品である耐火物の寿命をできるだけ延長することが望まれる。しかし、高温下における耐火物と周囲物質との反応機構はきわめて複雑で未解明の点も多い。耐火物には、レンガのように予め形状が定まった定形耐火物と、施工部に応じて形状を自由に変えられる不定形耐火物とに分類される。本論文では、現地にて機器による大量施工が可能であり、また、近年用途の拡充により使用量が増加している不定形耐火物に注目している。不定形耐火物に使用される原料の中でも、広範囲に使用されている炭化ケイ素質およびスピネル質材料に着目し、高温の熔融物である溶銑、溶鋼、高炉スラグとの界面反応を調査し、耐火物の寿命改善に役立てようという試みがなされている。

第1章では、上記のことが「緒論」として述べられている。

第2章では、高炉から溶銑を流し出す樋に用いられる不定形耐火材料に着目し、その主要成分であるスピネルおよび炭化ケイ素を選定し、それぞれのセラミック基板と溶銑(Fe-C 合金)間の反応について詳細に調査している。スピネル質基板については、1500℃の高温でも Fe-C 合金との界面で反応が起こらないことが確認され、スピネルは耐火物原料として Fe-C 合金に対して強い安定性を持つことが確認できたとしている。一方、炭化ケイ素質基板については、Fe-C 合金との間において激しい反応が起こり、二層の反応層が生成している。いずれの層も Fe-Si-C 金属と黒鉛粒からなるが、その形状や黒鉛粒サイズの違いから、Fe-C 合金側の反応層は液相として生成したこと、炭化ケイ素側の反応層は固相反応により生成したことを推察している。この反応により炭化ケイ素基板が損耗することを確認し、耐火物の寿命に悪影響を及ぼすことを明らかにし

ている。

第3章では、2章と同じくスピネル質および炭化ケイ素質材料を選定し、高炉から排出される溶融スラグとの反応について調査している。スピネル質基板と高炉スラグ間の反応については、原材料のスピネルよりも融点の低い化合物（Merwinite および Gehlenite）の生成が確認され、実操業での使用の際に耐火物に悪影響を与える可能性を示唆している。また、同じスピネル質でも、MgO 含有量が少ない基板の方が高炉スラグに対して若干反応が抑制できることを報告している。一方、高炉スラグと炭化ケイ素質基板の反応実験では、界面全体に広範囲に TiC が生成すること、その下の炭化ケイ素質基板側に黒鉛とスラグが交互に層をなす組織が形成され、その領域に鉄粒が存在することを確認している。炭化ケイ素質は実操業では高炉スラグに対して強い耐食性を持つことが知られているが、界面近傍ではこれら複数の反応が起こる可能性があることを熱力学的に説明している。

第4章では、製鋼用の不定形耐火物を取り上げ、その主要成分としてスピネルを選定し、溶鋼(Fe-O 合金)との反応について調査している。Fe-O 合金中の酸素濃度が高いほど、多くの FeO がスピネル基板内へ固溶しており、同じスピネル質でも MgO 含有量が少ない基板の方が基板内部のより深い位置まで FeO が存在することを明らかにしている。一方、Fe-O 合金中の酸素濃度が高くなると、溶鉄と基板の界面に FeO - MgO 相が生成したが、MgO 含有量の少ない基板の方が FeO-MgO 相が生成しにくいことを確認している。これまでに、スピネルを高温で実機適用した場合、MgO 含有量の少ないスピネルの方が耐用性に優れていることが経験的に確認されていることから、スピネル中への FeO の固溶はスピネル質耐火物の寿命に悪影響を及ぼさないと結論している。

第5章では、実用的な観点から耐火物の開発指針を得ることを目的として、炭化ケイ素質耐火モルタルの溶融スラグに対する耐食性について調査している。耐火モルタルとはレンガ同士をつなぐ目地材料である。まず、様々なモルタルのスラグ耐食性テストの結果、炭化ケイ素質を主成分とするモルタルが優れていたことを示している。次に、炭化ケイ素質モルタルに数%の TiO₂ を添加するとさらに耐食性が増すことを確認した。TiO₂ 添加によってモルタルの主成分である炭化ケイ素質の酸化減少を抑制できたことがその理由であると考察している。その TiO₂ 添加炭化ケイ素質モルタルを製鉄所の溶銑鍋にて実機適用し、従来品に比べて寿命を 24%延長出来たことを報告している。

第6章では、本研究の成果がまとめられており、供試試料として耐火物原料の主要成分であるスピネルと炭化ケイ素質に限定することにより、多成分からなる耐火物の使用後の解析では分らなかった界面近傍の反応の詳細を明らかにできたと総括している。

以上のように、本研究は、高温の厳しい環境下で使用される耐火物の反応性に関していくつかの新しい知見を提供するものであり、鉄鋼産業に用いられる耐火物の寿命改善、ひいては省資源、省エネルギーに大きく貢献するものと考えられる。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に対して、論文審査委員から「スピネル基板の組成の違いによる溶鉄との反応性」、「炭化ケイ素基板使用時のグラフェン生成の可能性」、「耐火モルタルへの TiO_2 添加のアイデア」等について種々の質問があったが、いずれも著者によって適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。